Die Polarität der Ionen in den positiven Schichten einer Glimmentladung in Stickstoff und Sauerstoff

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin

Von

Horst Lämmerhirt

aus Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Mai 1939

Tag der Promotion: 23. Juni 1939

N 21

Referenten: Prof. Dr. A. W e h n e l t

Prof. Dr. E. S c h u m a n n

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

N 21

Einleitung

Die Raumladungen und die Konzentration der Ladungsträger in den Schichten einer Glimmentladung in Quecksilber haben Mc. Curdy (1) und Compton, Turner und Mc. Curdy (2) gemessen. Sie finden eine positive Raumladung in den leuchtenden Teilen und eine negative in den dunklen Teilen der Schichten. Die Konzentration der positiven Ionen und der Elektronen hat im leuchtenden Teil der Schicht dicht hinter dem Schichtkopf (von der Kathode aus gerechnet) ein Maximum und ein Minimum im dunklen Teil. Jedoch überwiegt die Konzentration der positiven Ionen besonders im hellen Teil so sehr, daß die genannten Verfasser zur Annahme der Existenz negativer Ionen annähernd gleicher Konzentration gezwungen werden, um so die Poissonsche Gleichung zu erfüllen, da der Gradient in der Säule klein ist. Die negativen Ionen tragen wegen ihrer kleinen Beweglichkeit wenig zur Stromleitung bei, sie verringern aber die positive Raumladung. Die Verfasser stellen auch in den leuchtenden Teilen eine höhere Konzentration angeregter Atome fest, die, wie Franck und Grotrian (3) zeigen, leicht durch Anlagerung von Elektronen stabile negative Ionen bilden. Die Moleküle zweiatomiger Gase sind in den leuchtenden Teilen oft in Atome dissoziiert. Mc Curdy und Dalton (4) finden in den Schichten einer Glimmentladung in Helium auch einen Überschuß positiver Ionen, der allerdings nicht so groß ist wie der in den Versuchen zu der obengenannten Arbeit. Sie versuchen das Mißverhältnis zwischen positiven Ionen und Elektronen aus den weiten Fehlergrenzen zu erklären. Aus demselben Grunde kann man aber auch annehmen, daß die Konzentration der positiven Ionen in Wirklichkeit noch größer ist, so daß vielleicht auch hier negative Ionen auftreten. Wehnelt (5) und Brockmann (6) messen die Ladungsträger, die sich in bestimmter Richtung in der Entladung bewegen und finden in den dunklen Teilen mehr negative Ladungsträger als in den hellen. Für die Schichtbildung in Wasserstoff sprechen Lau und Reichenheim (7) den negativen Ionen eine entscheidende Rolle zu. Nach der Theorie der elektrischen Doppelschichten von H. H. Paul (8) herrscht in den dunklen Teilen eine negative und in den hellen Teilen eine positive Raumladung. Holm (9) nimmt das Vorhandensein positiver und negativer Ionen in zwei nebeneinanderliegenden Zonen der Schichten an.

---

(1) W. H. Mc. Curdy, Phil.Mag. XLVIII, 1924; 898

(2) K. T. Compton, L. A. Turner and W. H. Mc. Curdy, Phys. Rev. XXIV, 1924; 597

(3) J. Franck und W. Grotrian, Zs. f. Phys. 4, 1921; 89

(4) W. H. Mc. Curdy und P. Dalton, Phys.Rev. 27, 1926; 163

(5) A. Wehnelt, Erlanger Berichte 42, 1910; 89

(6) K. Brockmann, Berliner Dissertation, 1915

(7) E. Lau und O. Reichenheim, Annalen d.Phys. (5) 1929; 840

(8) H. H. Paul, Zs. f. Phys. 97, 1935; 330

(9) R. Holm, Zs. f. Phys. 75, 1932; 171

Die vorliegende Arbeit bezweckte die Bestimmung der Polarität der Ionen in den verschiedenen Teilen der Schichten dadurch, daß die Ionen aus der Entladung abgesaugt werden und dann an eine Auffangelektrode ihre Ladung abgeben. Die dadurch bedingte Potentialänderung wurde gemessen.

Versuchsanordnung

Das Entladungsrohr (Fig. 1) bestand aus einem Glasrohr von 115 cm Länge und 6 cm lichter Weite. Durch einen Ansatzstutzen strömte das Gas hinein und wurde in der Mitte des Rohres durch eine Kapillare von einer Quecksilber-Diffusionspumpe, die mit einer rotierenden Ölpumpe als Vorpumpe verbunden war, abgesaugt. Das Gas wurde einer Bombe entnommen und in einen mit Wasser als Sperrflüssigkeit gefüllten Gasometer hineingelassen. Ehe es ins Entladungsrohr kam, durchlief es eine Gasreinigungsanlage in der Reihenfolge: Gasometer, ein mit Glaswolle gefülltes Rohr, ein Rohr mit Kaliumhydroxyd, eine Waschflasche mit Pyrogallol, einen mit Calciumchlorid gefüllten Trockenturm, eine Waschflasche mit Schwefelsäure, ein Phosphorpentoxydgefäß, ein feines Nadelventil, durch das die Strömungsgeschwindigkeit geregelt werden konnte, und eine Kühlschlange, die in flüssige Luft eintauchte. Wenn mit Sauerstoff gearbeitet wurde, wurde die Waschflasche mit Pyrogallol, das ja zur Sauerstoffentfernung diente, selbstverständlich aus der Reinigungsanlage herausgenommen.

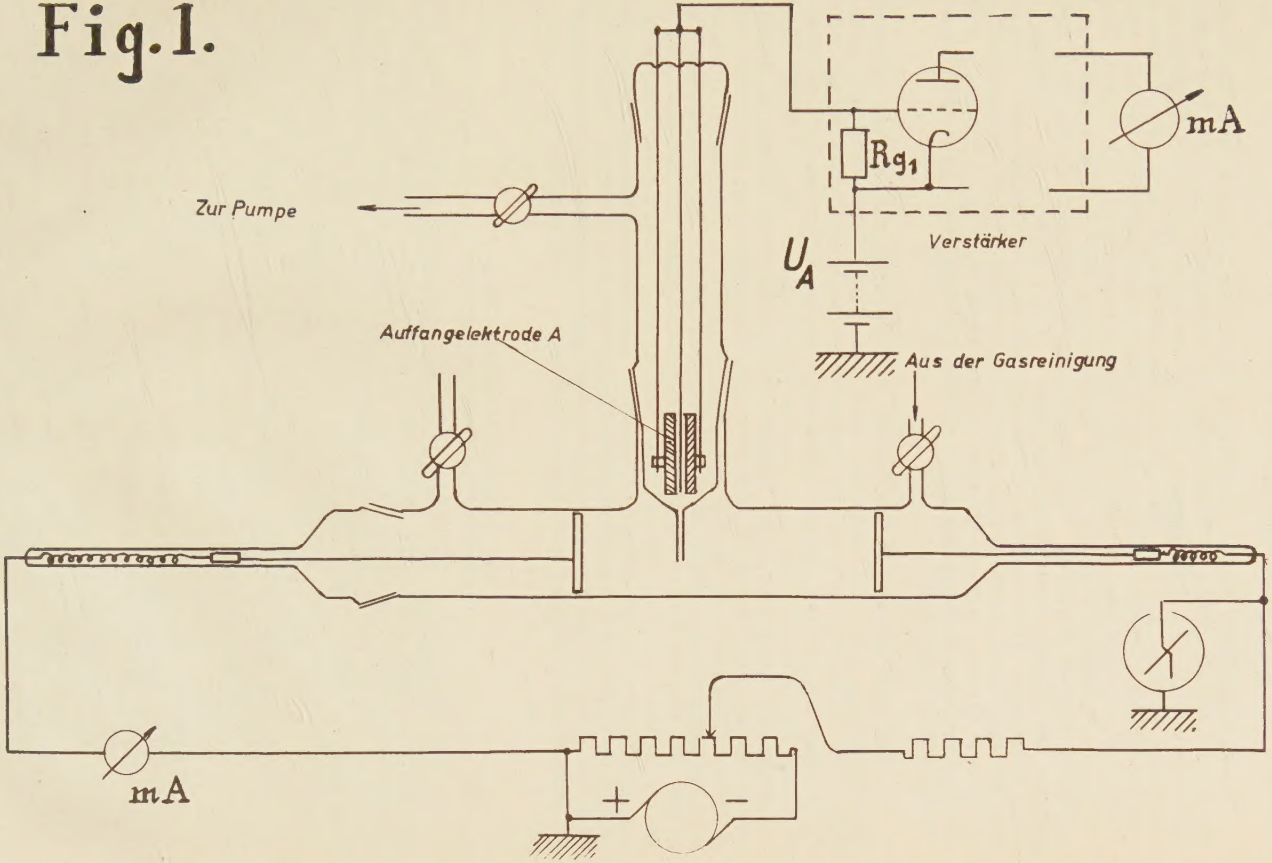
Zwischen der Pumpe und dem Entladungsrohr befand sich eine Kühlfalle in flüssiger Luft und ebenso auch zwischen dem Mac Leodschen Manometer und dem Entladungsrohr. Bei einer spektroskopischen Untersuchung ließen sich in der Entladung keine Linien fremder Gase feststellen.

Die aus V2A-Stahl bestehenden scheibenförmigen, ebenen Elektroden hatten einen nur etwas kleineren Durchmesser als das Entladungsrohr. Sie konnten im Rohr von außen durch einen Elektromagneten bewegt werden. Ihr gegenseitiger Abstand betrug bei Messungen in Stickstoff 35 bis 50 cm und bei Messungen in Sauerstoff 50 bis 60 cm.

Als Spannungsquelle diente eine Gleichstromdynamo, dazu parallel lag ein Spannungsteiler, an dem die erforderliche Spannung abgegriffen wurde. Sie wurde mit einem Braunschen Elektrometer gemessen; den Entladungsstrom zeigte ein Milliampèremeter an.

In die Entladung ragte eine dünnwandige Kapillare von 3 mm lichter Weite und 40 mm Länge bis etwas unter die Rohrachse hinein. Das Glasrohr, an dem die Kapillare angeschmolzen war, hatte innen und außen einen Silberbelag, um Kriechströme über das Glas hinweg abzuleiten; er diente auch gleichzeitig als statische Abschirmung. Durch das Abpumpen entstand längs der Kapillare ein Konzentrationsgefälle, dem die Ionen folgten. Hinter ihr befand sich bei der ersten der angewandten Methoden eine Auffangelektrode A (Fig. 1), die einem Faradaykäfig ähnlich war. Sie bestand noch von den Vorversuchen her aus zwei halben getrennten Mantelflächen eines Hohlzylinders ohne Grundflächen, dessen Achse ein Drahtstift von 1 mm Durchmesser bildete. Der Durchmesser des Zylinders betrug 10 mm. Die beiden halben Mantelflächen

Fig.1.


Zur Pumpe
Auffangelektrode A
Rg_1
mA
Verstärker
U_A
Aus der Gasreinigung
mA
+
−

und der Drahtstift waren an drei Durchschmelzungen befestigt, die außen miteinander leitend verbunden waren, so daß die ganze Anordnung wie ein Faradaykäfig wirkte.

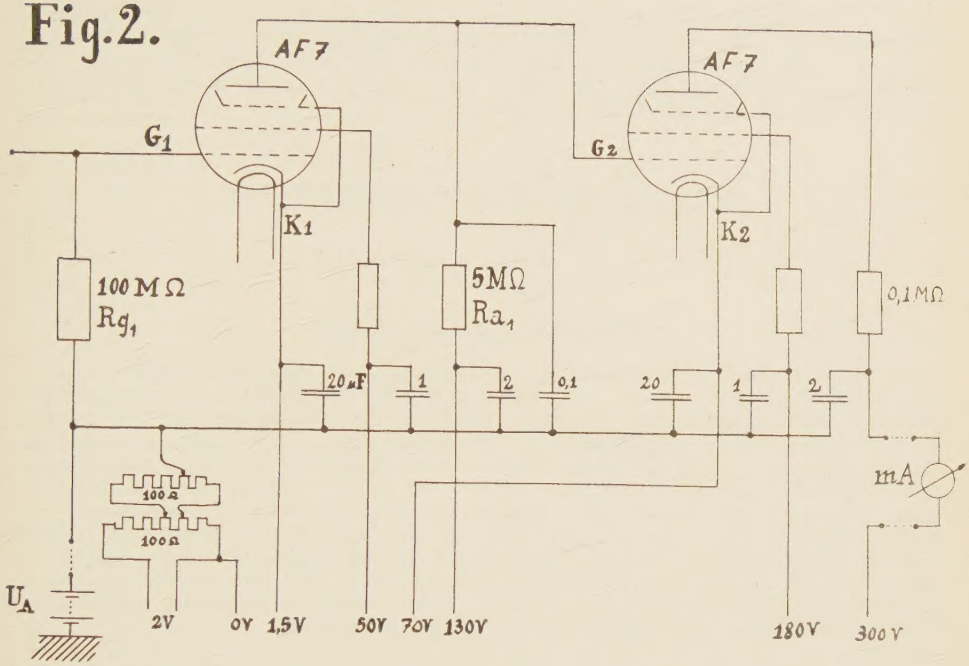
Verband man diese Elektrode mit dem Faden eines Elektrometers, so waren keine Aufladungen zu bemerken, die größer waren als die durch die Störungen infolge unvermeidlicher Induktion bedingten, obwohl in der Entladung an der Kapillare ein Potential von ungefähr - 100 Volt gegen Anode herrschte. Dieses Potential wurde mit einer statischen Sonde gemessen, die durch die Kapillare in die Entladung nach Entfernung der Auffangelektrode eingeführt werden konnte. Die erwähnten Störungen erzeugten Schwankungen des Elektrometerfadens von - 0,1 bis + 0,1 Volt. Auch beim Absaugen trat keine Aufladung der Auffangelektrode ein, da die an sie herangebrachten kleinen Ladungen durch mangelnde Isolation des Glases sofort wieder abgeleitet wurden. Deshalb wurde eine galvanometrische Methode unter Verwendung eines Gleichstromverstärkers benutzt.

Bei der ersten Methode war der Faradaykäfig über einen Widerstand $R_{g\,1}$ = 100 Megohm, der den Eingangswiderstand des Verstärkers bildete, mit einer geerdeten Batterie verbunden. Es floß dann wegen der schon erwähnten mangelnden Isolation des Glases ein kleiner Strom, der an dem Widerstand $R_{g\,1}$ einen Spannungsabfall erzeugte, der jedoch meist während einer Messung konstant blieb und deshalb bei den hier angewandten Methoden wenig störte. Wurden nun im Konzentrationsgefälle negative Ionen an den Faradaykäfig herangebracht, so wurde das Potential an derjenigen Seite des Widerstandes, die mit diesem verbunden war, und an der gleichzeitig das Gitter der ersten Röhre des Verstärkers lag, negativer als es vorher war. Entsprechendes geschah, wenn positive Ionen an den Faradaykäfig gebracht wurden. Diese Potentialänderungen wurden mit Hilfe des Anodenstroms der zweiten Röhre gemessen. Es kam vor allem auf ihre Richtungen an.

Der Gleichstromverstärker

Die Schaltung des zweistufigen Verstärkers zeigt Fig. 2. Es wurden zwei indirekt geheizte Schirmgitterröhren benutzt. Die Zuführungen zu den Kathoden, Anoden und Schirmgittern waren verblockt. $R_{g\,1}$ ist der Eingangswiderstand. Um die Gitterspannung der ersten Röhre fein regeln zu können, wurde sie an einem doppelten Spannungsteiler abgegriffen, der an einem Akkumulator lag. $R_{a\,1}$ = 5 Megohm war der Anodenwiderstand der ersten Röhre, der gleichzeitig als Gitterwiderstand der zweiten Stufe diente. Da deren Steuergitter G_2 direkt an der ersten Anode lag und dieses noch negativer als die Kathode der zweiten Röhre sein mußte, mußte das Potential dieser Kathode schon stark positiv sein. Der Anodenruhestrom $I_{a\,1}$ betrug $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ A. Er erzeugte an $R_{a\,1}$ also einen Spannungsabfall von 62 V; da dessen mit der Batterie verbundene Seite das Potential von 130 V hatte, hatte G_2 das Potential $U_{a\,1} = U_{g\,2}$ = 130 V - 62 V = 68 V. Die Kathode K_2 mußte also, damit sich die zweite Röhre im Arbeitspunkt befand, das Potential $U_{k\,2}$ = 70 V haben. Zur endgültigen Einstellung wurde jedoch $I_{a\,1}$ durch die Gittervorspannung von G_1 so nachgeregelt, daß die zweite Röhre richtig arbeitete. Der Anodenstrom $I_{a\,2}$ der zweiten Röhre wurde mit einem Türmchen-

Fig.2.



galvanometer gemessen, dessen Empfindlichkeit durch einen Nebenschluß etwas heruntergesetzt war. Sie betrug $6{,}9 \cdot 10^{-6}$ A/Skt. Die Gesamtsteilheit des Verstärkers wurde zu $dI_{a\,2} / dU_{g\,1} = 290$ mA/V gemessen, d.h. eine Änderung des Anodenstromes $dI_{a\,2} = 1$ Skt. wurde durch $dU_{g\,1} = 2{,}4 \cdot 10^{-5}$ V erzielt. Also 1 Skt. $= 2{,}4 \cdot 10^{-5}$ V.

Die hier erreichte Spannungsempfindlichkeit ist etwa 10 mal größer als die eines Quadrantenelektrometers. Die Meßmethode hatte außerdem den Vorteil, daß die Einstellzeit im wesentlichen nur von der kleinen Einstellzeit des Galvanometers abhängt, das bequem abzulesen ist. Die Spannungmessung mit einem Quadrantenelektrometer erwies sich als nicht durchführbar, da dieses wegen seiner langen Schwingungsdauer, seiner geringen Dämpfung und der kleinen Stromschwankungen in der Entladung überhaupt nicht zur Ruhe kam. Die Stromschwankungen waren durch kleine Druckschwankungen bedingt, da sich beim Absaugen nur schwer ein konstanter Druck einstellen ließ. Dieser mußte durch Verstellen des Einlaßventils immer wieder nachreguliert werden.

Eine positive Änderung der Gitterspannung $U_{g\,1}$ bedingte eine Vergrößerung des Anodenstromes $I_{a\,1}$ und damit eine Vergrösserung des Spannungsabfalls an $R_{a\,1}$, d.h. $U_{g\,2}$ wurde negativer und damit $I_{a\,2}$ kleiner. Das wurde beim Messen berücksichtigt: Um die Messungen leichter übersehen zu können, wurden die Änderungen $dI_{a\,2} \sim - dU_{g\,1}$ gleich mit dem negativen Vorzeichen versehen, so daß also, wenn $dU_{g\,1}$, in Skalenteilen gemessen, positiv aufgeschrieben wurde, das auch in Wirklichkeit einer positiven Änderung der Gitterspannung entsprach.

Die Verbindung zwischen der Auffangelektrode und dem Eingang des Verstärkers wurde durch eine abgeschirmte Zuleitung hergestellt. Die Erdbuchse des Verstärkers war mit einer Batterie verbunden, hatte also ein Potential U_A. Damit hatte auch die Auffangelektrode das gleiche Potential.

Messungen und Deutung der Ergebnisse

I. Methode

Entladung in Stickstoff

Der Druck im Entladungsrohr betrug bei den Messungen in Stickstoff meist $p = 0{,}2$ bis $0{,}3$ mm Hg, die Brennspannung 900 V, der Brennstrom 12 mA. Während der Versuche wurden diese Werte nicht immer eingehalten. So wurde vor allem bei konstantem Druck während einer Meßreihe Strom und Spannung dadurch etwas geändert, daß, um verschiedene Schichten an die Kapillare zu bringen, die Kathode verschoben werden mußte, während die Anode am selben Ort blieb. An der Stelle, an der die Kapillare in die Entladung hineinragte, sollte möglichst immer dasselbe zu - 100 V gegen Anode gemessene Potential herrschen. Dieses änderte sich stark beim Verschieben der Anode, jedoch nur wenig beim Verschieben der Kathode und bei kleinen Druckänderungen.

Es wurde die Abhängigkeit der Gitterspannung $U_{g\,1}$ von dem Orte der Entladung, an dem sich die Kapillare befand, bei verschiedenem Potential U_A aufgenommen. Hierbei ist zu bemerken, daß dann nur $U_{g\,1} = U_A$ war, wenn kein Strom floß. U_A war bei den Messungen immer ein wenig verschieden von $U_{g\,1}$, da, wie schon erwähnt, immer ein kleiner Strom wegen der mangelnden Isolation des Glases floß. Der Widerstand des Glases wurde zu 10^{10} Ohm gemessen. Das bedeutet, daß z.B. bei $U_A = 100$ V ein Strom von 10^{-8} A floß, der an $R_{g\,1}$ einen Spannungsabfall von 1 V erzeugte. In diesem Falle würden sich U_A und $U_{g\,1}$ um 1 V unterscheiden, praktisch ist also $U_A = U_{g\,1}$ zu setzen.

Es interessieren nur die relativen Werte, die $U_{g\,1}$, in Skalenteilen gemessen, an den verschiedenen Stellen der Entladung annahm. Deshalb konnte der Nullpunkt von $U_{g\,1}$ willkürlich gewählt werden. Es wurde jeweils für jede Meßreihe der Wert von $U_{g\,1}$ gewählt, den die Auffangelektrode annahm, wenn sich der dunkelste Teil der Schichten an der Kapillare befand. Dort blieb nämlich, wie unten zu ersehen ist, für ein bestimmtes U_A das Potential $U_{g\,1}$ beim Saugen und beim Nichtsaugen das gleiche.

Für $U_A = - 300$ V (gegen Anode) $= - 200$ V (gegen Schichtpotential) und $U_A = + 100$ V (gegen Anode) $= + 200$ V (gegen Schichtpotential) wurde $U_{g\,1}$ als Funktion des Ortes im Bereich mehrerer Schichten gemessen (Fig. 3c, 3g). (Es ist U_A = Potential der Auffangelektrode gegen die geerdete Anode, $U_A(s)$ = Potential der Auffangelektrode gegen Schichtpotential. $U_A(s) = U_A + 100$ V.) Da sich volle Periodizität dieser Funktion mit den Schichten ergab und vor allem die Lage und Größe der Extremwerte wichtig war, wurde $U_{g\,1}$ für andere Werte $U_A(s)$ nur im Hellig-

keitsmaximum und im dunkelsten Teil der Schichten gemessen, also nur dort, wo erfahrungsgemäß Extremwerte lagen. (Fig. 3a, b, d, e, f, h). Es wurden für jeden Wert des Parameters $U_A^{(s)}$ zwei Meßreihen aufgenommen: Einmal wurde U_{g1} gemessen, wenn das Gas nicht abgesaugt wurde, ein andermal, wenn es durch die Kapillare abgesaugt wurde. Durch das Nadelventil wurde dabei soviel Gas in das Entladungsrohr wieder eingelassen, daß der Druck konstant blieb, wie man aus dem Feststehen der Schichten schließen konnte. Im stationären Zustand ging dann in 17 s eine Gasblase (Volumen etwa 1 ccm, Atmosphärendruck) durch die Gasreinigungsanlage hindurch.

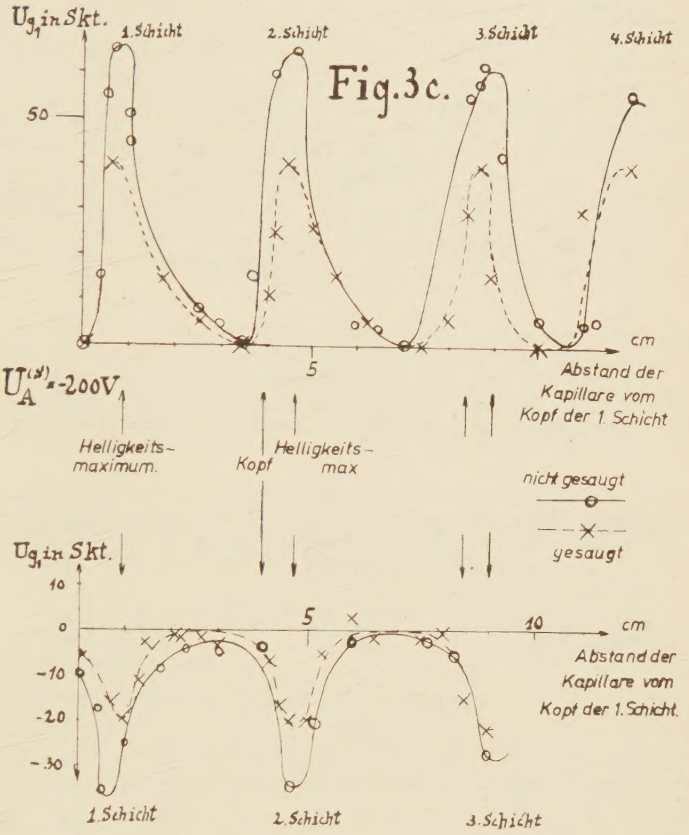


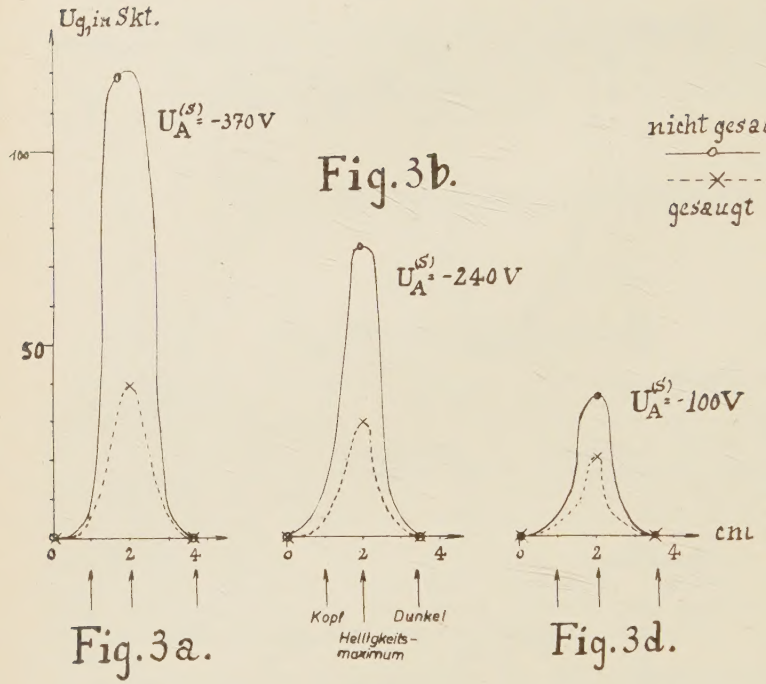
Fig.3c.

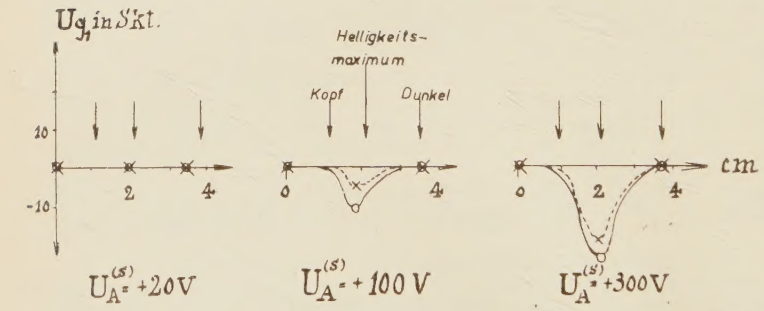
$U_A^{(s)}$ = +200V

Fig.3g.

Die Kurve der Fig. 3c (nicht gesaugt) zeigt, daß sich an den Stellen maximaler Helligkeit Maxima von U_{g1} befanden. Die andere Kurve dieser Figur, die beim Absaugen aufgenommen wurde, zeigt eine ähnliche Abhängigkeit vom Ort der Entladung, jedoch sind die Maxima nicht so groß. Dieselben Verhältnisse ergeben sich auch für $U_A^{(s)}$ = - 370 V, - 240 V und - 100 V (Fig. 3a, b, d), d.h. also dann, wenn das Potential der Auffangelektrode negativ war gegen das Potential an der Stelle der Entladung, an der sich die Kapillare befand. Dieses Ergebnis läßt sich folgendermaßen deuten:

In den Schichten sind positive und negative Ionen vorhanden. Die größte Konzentration beider Arten befindet sich im Helligkeits-





maximum. Wenn nicht abgesaugt wird, wandern die positiven Ionen in dem Feld, das zwischen der Auffangelektrode und der Entladung herrscht, zu der negativen Auffangelektrode hin. Wird nun das Gas abgesaugt, so wandern im Konzentrationsgefälle, dem die Elektronen ja nicht folgen, auch negative Ionen durch die Kapillare zur negativen Auffangelektrode hin, deren Potential dadurch etwas negativer wird. Auf dem 50 mm langen Wege bis zur Auffangelektrode wird sich ein Teil der positiven Ladungen mit den negativen vereinigen; auch dadurch wird die Auffangelektrode negativer. Die Ionen können im Konzentrationsgefälle gegen ein elektrisches Feld anlaufen, wenn die Geschwindigkeit

$$v_d = \frac{D}{N} \cdot \frac{dN}{dx}$$

(D = Diffusionskoeffizient), die sie im Konzentrationsgefälle erhalten, größer ist als die entgegengesetzte Geschwindigkeit $v_e = b \cdot E$ (b = Beweglichkeit), die sie im elektrischen Felde E erhalten.

Für die Werte $U_A^{(s)}$ = + 100 V, + 200 V und + 300 V zeigen die Kurven (Fig. 3f, 3g, 3h) Minima an den Stellen größter Helligkeit, wenn nicht gesaugt wird. Wenn das Gas durch die Kapillare abgesaugt wurde, waren die Minima nicht so tief. Auch diese Erscheinung läßt sich aus dem Vorhandensein negativer und positiver Ionen in den hellen Teilen der Schichten deuten. Die negativen Ladungsträger wandern, wenn nicht gesaugt wird, im elektrischen Feld aus der Entladung zur positiven Auffangelektrode hin. In dem beim Saugen entstehenden Konzentrationsgefälle kommen auch positive Ionen gegen das elektrische Feld in die Kapillare hinein und kompensieren so einen Teil der negativen Ladungsträger. Deshalb wird das Minimum von $U_{g\,1}$ nicht so tief, das Potential wird etwas positiver.

War $U_A^{(s)}$ = 20 V (Fig. 3e), so herrschte zwischen der Schicht und Auffangelektrode nur ein schwaches Feld. Es kamen nicht so viele Ionen zur Auffangelektrode, daß eine meßbare Aufladung entstand; auch beim Absaugen entstand keine Spannungsänderung, da die in die Kapillare hineinkommenden positiven und negativen Ladungen ziemlich gleich groß waren.

Die gleichen Ergebnisse zeigten auch die Messungen folgender Art: Es wurde die Spannungsänderung $dU_{g\,1}$ gemessen, die sich beim Saugen gegenüber dem Nichtsaugen einstellt, wenn man beide Male dieselbe Stelle der Schicht an der Kapillare läßt.

Tabelle 1

Spannungsänderung $dU_{g\,1}$ (in Sktl.)
beim Saugen gegenüber dem Nichtsaugen

$U_A^{(s)}$ =	- 370 V	- 300 V	- 240 V	- 100 V
Helligkeitsmaximum	-55	-70	-45	- 3
Dunkel	0	- 2	0	+ 5

$U_A^{(s)}$ =	+ 20 V	+ 100 V	+ 300 V	+ 440 V
Helligkeitsmaximum	0	+ 4	+45	+80
Dunkel	0	0	0	+ 5

(1 Skt. = $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ V)

Solange $U_A^{(s)}$ negativ war, d.h. das Potential der Auffangelektrode war negativ gegen das der Schicht, wurde die Elektrode beim Saugen an derselben Stelle der Schicht negativer, da aus der Schicht negative Ionen im Konzentrationsgefälle zur Elektrode kamen. Für $U_A^{(s)}$ = 20 V bestand nur ein sehr schwaches Feld zwischen Elektrode und Schicht, so daß ziemlich gleich große negative und positive Ladungen durch die Kapillare wanderten. Wenn $U_A^{(s)}$ jedoch positiv war, wurde die Elektrode beim Saugen positiver, da dann die positiven Ionen gegen das Feld zur Elektrode wanderten.

An den dunklen Stellen der Entladung (meist dicht vor dem Kopf) waren für alle Werte von $U_A^{(s)}$ keine Spannungsunterschiede festzustellen. (Bei $U_A^{(s)}$ = - 300 V, - 100 V und + 440 V zeigt die Tabelle doch einen kleinen Unterschied auch an den dunklen Stellen. Das waren höchstwahrscheinlich Meßfehler, die dadurch entstanden, daß sich während der Messung der Ruhestrom etwas veränderte und daß sich dadurch der gewählte Nullpunkt von $U_{g\,1}$ etwas verschob.) Dieses Ergebnis führt zur Annahme, daß in den nichtleuchtenden Teilen der Schicht keine oder im Verhältnis zu den hellen Stellen nur sehr wenige Ionen vorhanden sind. Die Stromleitung wird dort durch Elektronen besorgt.

Entladung in Sauerstoff

Die Messungen nach dieser ersten Methode wurden nicht nur wie die oben beschriebenen in Stickstoff, sondern auch in Sauerstoff durchgeführt. Bei den Messungen mit Sauerstoff als Füllgas betrug der Druck p = 0,08 bis 0,1 mm Hg, der Brennstrom 2 bis 3 mA. Nur in diesem Druck-Strom-Bereich traten ruhigstehende Schichten in der Entladung auf, in anderen Bereichen gingen sie in laufende Schichten über, wie man stroboskopisch sehen konnte. Die in dem angegebenen Bereich entstehenden positiven Schichten hatten eine leuchtende Zone von etwa 1 cm Länge, während sie bei denjenigen in Stickstoff 2,5 cm betrug. Es war nicht möglich, jede Stelle der Schichten an die Kapillare zu bringen. Die Schichten wurden durch die Kapillare deformiert, es konnte deshalb nur im dunklen Teil und in dem hellen dicht am Kopf gemessen werden.

Die Messungen in Sauerstoff gaben qualitativ die gleichen Resultate wie die in Stickstoff (Fig. 4 und Tabelle 2. 1 Skt. = $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ V).

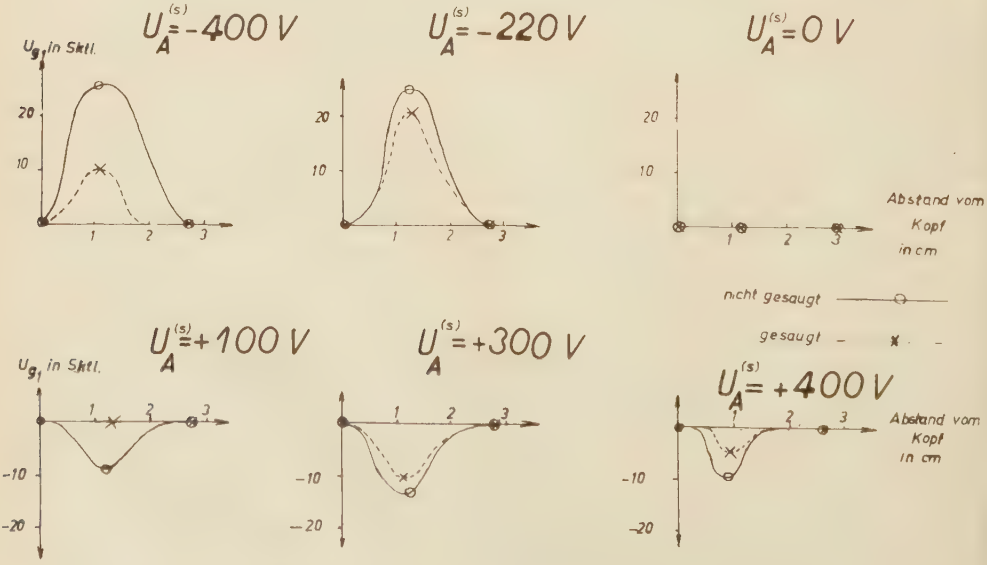


Fig. 4

Tabelle 2

Spannungsänderung $dU_{g\,1} = U_{g\,1}$ (gesaugt) $- U_{g\,1}$ (nicht gesaugt)

($dU_{g\,1}$ in Skt.)

$U_A^{(s)}$ =	- 400 V	- 220 V	0 V	+ 100 V
Helligkeitsmaximum	-45	-15	0	+ 8
Dunkel	0	- 2	0	- 1

$U_A^{(s)}$ =	+ 200 V	+ 300 V	+ 400 V
Helligkeitsmaximum	+ 2	+ 5	+ 6
Dunkel	- 1	0	0

Die Spannungsänderungen zwischen dem Saugen und dem Nichtsaugen und auch zwischen den hellen und dunklen Stellen waren klein, da nur ein kleiner Strom in der Entladung floß und deshalb weniger Ionen in den Schichten vorhanden waren. Außerdem war der Druck kleiner und damit die freie Weglänge der Ionen größer, so daß aus diesem Grunde auch ein größerer Anteil der Ladungen an der Kapillarwand vernichtet wurde.

II. Methode

Bei der Entladung in Stickstoff wurden noch Messungen nach einer Methode durchgeführt, bei der das System der Auffangelektrode anders ausgebildet war. Die eigentliche Auffangelektrode bestand aus einem kreisförmigen Nickelblech von 1,5 cm Durchmesser, das sich senkrecht zur Strömungsrichtung hinter der Kapillare befand (Fig. 5).

Vor der Auffangelektrode A war noch im Abstand von 1,5 mm ein enges Gitter B angebracht, das das Potential U_B hatte. Es wurde wieder die Spannungsänderung von $U_{g\,1}$ zwischen hellen und dunklen Stellen der Schichten beim Saugen und dasselbe auch beim Nichtsaugen gemessen und vor allem auch der Unterschied zwischen Saugen und Nichtsaugen, wenn man dieselbe Stelle der Schicht an der Kapillare stehen ließ. Bei dieser Methode waren die Spannungsänderungen von $U_{g\,1}$ an R_g geringer als bei der I. Methode, da das Gitter abschirmend wirkte. Die Spannungsänderungen $dU_{g\,1}$ von $U_{g\,1}$ bei den verschiedenen Potentialen U_A und U_B der Auffangelektrode A und des Gitters B sind in Tabelle 3 angegeben.

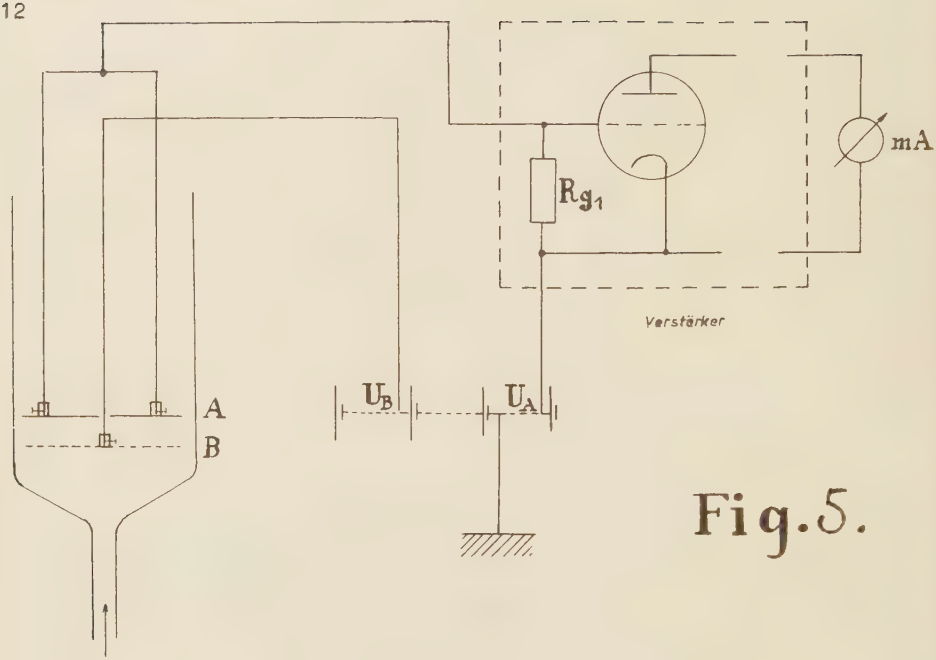


Fig.5.

Tabelle 3

Potential der Auffangelektr. A und des Gitters B in Volt	I $dU_{g\,1}$ = $U_{g\,1}$ (gesaugt) − $U_{g\,1}$ (nicht gesaugt) in Skalenteilen	II dU_g = U_g (hell) − U_g (dunkel) in Skalenteilen
U_A = −550 U_B = −300	hell: − 7 dunk: 0	ges. +20 n.ges. +15
U_A = −350 U_B = −300	hell: − 3 dunk:	ges. +25 n.ges. +20
U_A = −250 U_B = −300	hell: + 1 dunk:	ges. − 2 n.ges. − 4
U_A = −150 U_B = −300	hell: + 2 dunk:	ges. − 5 n.ges. − 2
U_A = + 50 U_B = −300	hell: +10 dunk:	ges. −10 n.ges. −20
U_A = −350 U_B = −150	hell: − 5 dunk:	ges. n.ges. +15

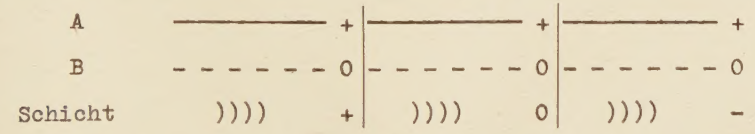
Potential der Auffangelektr. A und des Gitters B in Volt	I $dU_{g\,1}$ = $U_{g\,1}$ (gesaugt) − $U_{g\,1}$ (nicht gesaugt) in Skalenteilen		II dU_g = U_g (hell) − U_g (dunkel) in Skalenteilen	
U_A = −250 U_B = −150	hell: dunk:	− 2	ges. n.ges.	+ 9
U_A = − 50 U_B = −150	hell: dunk:	+ 4	ges. n.ges.	− 4 − 5
U_A = + 50 U_B = −150	hell: dunk:	+ 5	ges. n.ges.	−10
U_A = +250 U_B = −150	hell: dunk:	+10 0	ges. n.ges.	−10 −20
U_A = −150 U_B = −250	hell: dunk:	+ 3	ges. n.ges.	− 5
U_A = + 50 U_B = −200	hell: dunk:	+ 8 0	ges. n.ges.	−25
U_A = − 50 U_B = −200	hell: dunk:	+ 2	ges. n.ges.	− 8
U_A = −400 U_B = −100	hell: dunk:	−10 0	ges. n.ges.	+20 +20
U_A = −250 U_B = −100	hell: dunk:	− 3 0	ges. n.ges.	+ 8 +10
U_A = −150 U_B = −100	hell: dunk:	− 1	ges. n.ges.	+10 +10
U_A = −100 U_B = −100	hell: dunk:	0	ges. n.ges.	0 0
U_A = 0 U_B = −100	hell: dunk:	+ 5 0	ges. n.ges.	−13 −10
U_A = + 50 U_B = −100	hell: dunk:	+ 5	ges. n.ges.	−20 −20
U_A = +100 U_B = −100	hell: dunk:	+ 4	ges. n.ges.	−12 −20
U_A = +150 U_B = −100	hell: dunk:	+ 8 0	ges. n.ges.	−10 −15

Potential der Auffangelektr. A und des Gitters B in Volt	I $dU_{g\,1}$ = $U_{g\,1}$ (gesaugt) − $U_{g\,1}$ (nicht gesaugt) in Skalenteilen		II dU_g = U_g (hell) − U_g (dunkel) in Skalenteilen	
U_A = +200 U_B = −100	hell: dunk:	+18	ges. n.ges.	−20 −40
U_A = +300 U_B = −100	hell: dunk:	+ 8	ges. n.ges.	−18 −20
U_A = −350 U_B = 0	hell: dunk:	− 4	ges. n.ges.	 +12
U_A = −200 U_B = 0	hell: dunk:	− 3	ges. n.ges.	 + 8
U_A = −100 U_B = 0	hell: dunk:	− 2	ges. n.ges.	+ 8 + 7
U_A = +200 U_B = 0	hell: dunk:	+ 5	ges. n.ges.	 −15
U_A = +350 U_B = 0	hell: dunk:	+ 3	ges. n.ges.	 −15
U_A = +450 U_B = 0	hell: dunk:	+10	ges. n.ges.	−15 −25
U_A = −300 U_B = +100	hell: dunk:	−10	ges. n.ges.	+10 +25
U_A = −100 U_B = +100	hell: dunk:	− 5	ges. n.ges.	+15 +15
U_A = −400 U_B = +150	hell: dunk:		ges. n.ges.	+10 +15
U_A = −250 U_B = +150	hell: dunk:	− 3	ges. n.ges.	+ 5 + 8
U_A = − 80 U_B = +150	hell: dunk:	− 3	ges. n.ges.	 +10
U_A = +250 U_B = +150	hell: dunk:	+ 2	ges. n.ges.	 −10
U_A = +400 U_B = +150	hell: dunk:	+15	ges. n.ges.	 −13

Potential der Auffangelektr. A und des Gitters B in Volt	I $dU_{g\,1}$ = $U_{g\,1}$ (gesaugt) − $U_{g\,1}$ (nicht gesaugt) in Skalenteilen		II dU_g = U_g (hell) − U_g (dunkel) in Skalenteilen	
U_A = −100	hell:	−15	ges.	+20
U_B = +300	dunk:		n.ges.	+35
U_A = 0	hell:	− 5	ges.	
U_B = +300	dunk:		n.ges.	+15
U_A = +100	hell:	− 3	ges.	
U_B = +300	dunk:		n.ges.	+10
U_A = +150	hell:	− 2	ges.	+ 8
U_B = +300	dunk:	0	n.ges.	+10
U_A = +250	hell:	− 2	ges.	
U_B = +300	dunk:		n.ges.	+ 6
U_A = +450	hell:	+15	ges.	−15
U_B = +300	dunk:	+ 5	n.ges.	−25

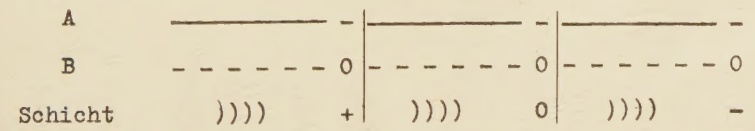
Aus Tabelle 3 liest man folgendes ab:

Es sei mit "A positiv" bezeichnet, daß die Auffangelektrode A positives Potential gegen das Gitter B hatte. "Schicht negativ" heißt, daß die Schicht, die sich an der Kapillare befand und die immer ein Potential von ungefähr − 100 V gegen die geerdete Anode der Entladung hatte, negativ gegen das Gitter war. Es lassen sich 6 Fälle unterscheiden, die man in 2 Gruppen unterteilen kann. Bei der ersten Gruppe war A positiv gegen B:



In allen 3 Fällen wurde die Auffangelektrode A im Hellen negativer als im Dunklen sowohl beim Saugen als auch beim Nichtsaugen. Im Hellen wurde A beim Saugen positiver als beim Nichtsaugen. Im Dunklen bestand kein Unterschied zwischen dem Saugen und dem Nichtsaugen.

Bei der zweiten Gruppe war A negativ gegen B:



Bei den 3 Schaltmöglichkeiten dieser Gruppe wurde A im Hellen positiver als an dunklen Stellen der Schicht. Im Hellen wurde A beim Saugen negativer als beim Nichtsaugen. Im Dunklen machte sich wieder kein Unterschied zwischen dem Saugen und dem Nichtsaugen bemerkbar. Die Spannungsänderungen waren also nur abhängig von der Feldrichtung zwischen A und B. Demnach diffundierten die Ionen auch teilweise gegen das Feld von der Schicht zum Gitter B. Dieses Feld war viel schwächer als das Feld zwischen A und B, da der Abstand A - B 1,5 mm und der Abstand B - Schicht = 60 mm betrug.

Auch aus diesen Messungen kann man den Schluß ziehen, daß in den dunklen Teilen der Schichten keine oder nur sehr wenige Ionen vorhanden sind, da sich beim Absaugen keine oder nur sehr geringe Spannungsänderungen $dU_{g\,1}$ bemerkbar machen. In den hellen Teilen der Schichten sind positive und negative Ionen vorhanden, und zwar am meisten im Helligkeitsmaximum, denn beim Absaugen machen sich dort positive und negative Spannungsänderungen $dU_{g\,1}$ am stärksten bemerkbar. Da diese Änderungen nach den hier angestellten qualitativen Messungen ungefähr gleich groß sind, müssen von beiden Arten in der Zeiteinheit gleiche Ladungsmengen aufgefangen werden, so daß also in den Schichten positive und negative Ionen in annähernd gleicher Konzentration vorhanden zu sein scheinen. Nach dieser Methode wurden Messungen in Sauerstoff nicht durchgeführt, da hierbei die Spannungsänderungen zu klein waren.

Zusammenfassung

Es werden Methoden beschrieben, mit denen die Polarität der Ionen in der geschichteten positiven Säule einer Glimmentladung in Stickstoff und Sauerstoff bestimmt wird. Auf Grund qualitativer Messungen werden in den leuchtenden Teilen der Schichten positive und negative Ionen festgestellt; in den dunklen Teilen sind keine oder im Verhältnis zu den hellen Stellen nur sehr wenige Ionen vorhanden.

Die vorliegende Arbeit wurde im I. Physikalischen Institut der Universität Berlin ausgeführt. Dem Direktor des Instituts, Herrn Prof. Dr. A. W e h n e l t , danke ich herzlich für die Anregung zu dieser Arbeit und für sein stets wohlwollendes Interesse. Herrn Dr. E. W e h n e l t bin ich für seine bereitwillige und verständnisvolle Förderung sehr dankbar.

Lebenslauf

Ich, Horst L ä m m e r h i r t , wurde am 11. 9. 1914 als Sohn des Kaufmanns Georg Lämmerhirt und seiner Ehefrau Else geb. Krüger zu Berlin-Neukölln geboren. Ich besuchte 3 Jahre die I. Gemeindeschule in Berlin-Treptow und dann 9 Jahre das Reformrealgymnasium in Berlin-Neukölln, das ich Ostern 1933 nach bestandener Reifeprüfung verließ.

Im Sommersemester 1933 ließ ich mich an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin immatrikulieren, um Physik und Mathematik zu studieren. Während der Semesterferien war ich einmal bei der Siemens & Halske A.G. als Werkstudent in einem Entwicklungslaboratorium tätig.

Die Arbeit an der vorliegenden Dissertation begann ich im April 1937 im I. Physikalischen Institut. Zeitweise war ich dort Hilfsassistent.

Herstellung: V D I - Verlag GmbH, Berlin NW 7